



TUGAS AKHIR – SF 141501

Optimasi *Nanofiber* Hasil *Electrospinning*

Tri Ilma Sari
NRP 01111440000007

Dosen Pembimbing
Diky Anggoro, M.Si
Iim Fatimah, M.Si

DEPARTEMEN FISIKA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – SF 141501

NANOFIBER OPTIMIZATION OF ELECTROSPINNING RESULTS

**Tri Ilma Sari
NRP 01111440000007**

**Supervisor :
Diky Anggoro, M.Si
Iim Fatimah, M.Si**

**DEPARTEMENT OF PHYSICS
FACULTY OF NATURAL SCIENCE
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2018**

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMASI NANOFIBER HASIL ELECTROSPINNING

TUGAS AKHIR

Disusun untuk memenuhi syarat kelulusan mata kuliah

Tugas Akhir

Program Strata 1

Departemen Fisika

Fakultas Ilmu Alam

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

TRI ILMA SARI

01111440000007

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1 Diky Anggoro, M.Si (Pembimbing 1)

(NIP.19850809 201404 1 003)

2 Iim Fatimah, M.Si (Pembimbing 2)

(NIP.19870108 201504 2 002)



“Halaman ini sengaja dikosongkan”

OPTIMASI NANOFIBER HASIL *ELECTROSPINNING*

Nama Mahasiswa : Tri Ilma Sari
NRP : 01111440000007
Departemen : Fisika FIA-ITS
Dosen Pembimbing : 1. Diky Anggoro, M.Si
2. Iim Fatimah, M.Si

Abstrak

Beberapa parameter *electrospinning* digunakan untuk mengoptimalkan ukuran *nanofiber*. Parameter *electrospinning* yang paling mempengaruhi diameter *fiber* adalah konsentrasi larutan, *DC High Voltage*, dan jarak *nozzle to collector*. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan variasi parameter dalam menghasilkan ukuran dan morfologi *fiber*. *Electrospinning* menggunakan larutan yang dikenai oleh *DC High Voltage* sehingga timbul gaya elektrostatik dan medan listrik. Larutan tersebut akan memanjang membentuk kerucut (*Taylor Cone*). Kemudian terbentuk jet polimer yang mengalami penipisan dan penguapan sehingga terbentuk serat pada *collector*. Uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*) dilakukan untuk mengetahui diameter dan morfologi dari *fiber* yang terbentuk. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa *nanofiber* terkecil didapatkan pada konsentrasi larutan 5%, *DC High Voltage* 10 kV, dan jarak *nozzle to collector* 15 cm.

Kata Kunci : *Electrospinning, DC High Voltage, Nanofiber, Nozzle to Collector, Konsentrasi.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

NANOFIBER OPTIMIZATION OF ELECTROSPINNING RESULTS

Name : Tri Ilma Sari
NRP : 01111440000007
Department : Physics, FIA-ITS
Supervisors : 1. Diky Anggoro, M.Si
2. Iim Fatimah, M.Si

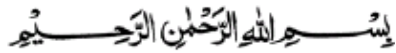
Abstract

Several parameters in electrospinning can be used to optimize the nanofiber size, this electrospinning parameters that affect the fiber diameter are the liquid concentration, DC High Voltage and Nozzle to Collector distance. This experiment aims to maximizing the parameter of variation in producing the size and morphology of fiber itself. Electrospinning uses the liquid that has been applied with DC High Voltage so the elektrostatik and electric field are happened. Those liquid will be lengthened with cone shaped size (Taylor Cone). And formed the thinning polymer jet that evaporates so the fiber is formed in collector. The Scanning electron microscopy test is conducted to determine the diameter and morphology of the formed fiber. According to this experiment it can be concluded that the smallest nanofiber can be obtained when liquid concentration is at 5% and DC High Voltage is on 10kV and the distance between nozzle and collector is 15 cm.

Keywords: *Electrospinning, DC High Voltage, Fluid Concentration, Nanofiber, Nozzle to collector.*

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR



Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat-Nya, petunjuk-Nya berupa nikmat iman, islam, dan ikhsan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul “**Optimasi Nanofiber Hasil *Electrospinning***” dengan optimal dan waktu yang tepat. Tugas Akhir (TA) ini penulis susun untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Atas bantuan, dorongan, dan juga bimbingan dari berbagai pihak, akhirnya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan baik. Sehubungan dengan hal tersebut, maka penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada :

1. Diky Anggoro, M.Si dan Iim Fatimah, M.Si selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah membagi pengalaman serta memberikan pengarahan selama proses penelitian dan penyusunan laporan.
2. Dr. Dra. Melania Suweni Muntini, MT dan Drs. Bachtera Indarto, M.Si selaku dosen di Bidang Instrumentasi yang selalu memberikan dukungan dan motivasinya kepada mahasiswa di lingkungan Laboratorium Elektronika.
3. Bapak dan Ibu tercinta, Mas Siswanto, Mas Solekhan, Naura, Almira, Mbak Siti Masruro, dan Mbak Saumi, yang telah memberikan semua hal terbaik bagi penulis sejak kecil hingga sampai saat ini.
4. Penghuni Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi khususnya Nilna, Alfu, Dila, Mursyid, Ucup, Fauzi, Agung K, Ghinan, Rico, Mas Bkti, Mbak Ulfa, Mbak Ira yang telah membantu dan memberikan semangat dan saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.

5. Teman seperjuangan dalam menyelesaikan tugas akhir pada semester ini yaitu Lutfi Fitria, Mas Badri, Mas Tito, Mas Adit, Mas Yaka, Silvia L, Fasya K, dan pendamping wisuda 117 lainnya yang telah memberikan semangat untuk menyelesaikan tugas akhir
6. M. khoirul R, Sarirazty Dwi J, Rendy W., Soni A., Arif H., Mira A., yang telah memberi dukungan, saran, dan do'a selama ini.
7. Al Hariyanti, Surya Rachmawati, dan Uc Nurhidayati yang telah memberikan semangat untuk penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Khoirrotun N, Dian Rosyida, Fachrina, Levina Almira, yang telah memberi dukungan, memberikan pengalaman dan sharing informasi untuk penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. Irma septi, Annisa Nurul Aini, dan Bramantya R. telah membantu penulis dalam mengoreksi draft tugas akhir.
10. Teman-teman ANTARES dan warga fisika lainnya yang telah memberikan dukungan do'a dan semangat kepada penulis
11. Dan semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan dalam penulisan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar lebih baik di masa yang akan datang. Semoga laporan penelitian Tugas Akhir ini dapat berguna dan dimanfaatkan dengan baik sebagai referensi bagi yang membutuhkan serta menjadi sarana pengembangan kemampuan ilmiah bagi semua pihak yang bergerak dalam bidang Fisika Instrumentasi dan Elektronika. Aamiin Ya Rabbal Alamiin.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Electrospinning	5
2.2 <i>Nanofiber</i>	8
2.3 Parameter yang mempengaruhi hasil <i>electrospinning</i>	9
2.3.1 <i>DC high voltage</i>	9
2.3.2 Laju Aliran (<i>Flowrate</i>)	11
2.3.3 Jarak antara ujung jarum ke <i>collector</i>	12
2.3.4 Viskositas larutan dan Konsentrasi Larutan	12
2.3.5 Konduktivitas Larutan	13
2.4 Taylor Cone Sebagai Larutan <i>Self-Similar</i>	14

2.5 PVA (Polyvinyl Alcohol)	15
2.6 Analisis Scanning Electron Microscopy (SEM).....	16
BAB III.....	19
METODOLOGI	19
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan	20
3.3 Langkah Kerja	26
3.3.1 Pembuatan larutan polimer.....	26
3.3.2 Fabrikasi <i>nanofiber</i>	28
3.3.3 <i>Electrospinning</i>	30
BAB IV.....	31
HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1 Prinsip <i>Electrospinning</i>	31
4.1.1 Tahap Pembentukan <i>Taylor Cone</i>	31
4.1.2 Tahap penipisan <i>fiber</i>	32
4.1.3 Tahap <i>solidification</i>	32
4.2 Parameter <i>Electrospinning</i>	32
BAB V	43
KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Kesimpulan.....	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN 1	49
LAMPIRAN 2	51
BIODATA PENULIS.....	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Electrospinning</i>	5
Gambar 2.2 Kurva energi potensial terhadap muatan	7
Gambar 2.3 Arah medan listrik (a) keluar dari muatan positif dan (b) masuk ke muatan negatif	7
Gambar 2.4 Hasil SEM <i>nanofiber</i> larutan PVA	9
Gambar 2.5 Mekanisme efek tegangan tinggi terhadap muatan pada <i>liquid droplet</i>	10
Gambar 2.6 Bentuk droplet stabil dan transient droplet dengan pengaruh medan listrik	15
Gambar 2.7 Struktur kimia PVA	16
Gambar 2.8 Prinsip kerja <i>Scanning Electron Microscopy</i>	17
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
Gambar 3.2 <i>Tegangan tinggi</i>	21
Gambar 3.3 <i>Electrospinning</i> (a) <i>nozzle</i> , (b) <i>syringe pump</i>	21
Gambar 3.4 <i>Collector</i>	22
Gambar 3.5 (a) Gelas beker 250 ml dan (b) <i>Glass rod</i>	22
Gambar 3.6 Timbangan digital.....	23
Gambar 3.7 (a) <i>magnetic hotplate stirrer</i> (b) <i>magnetic stirrer</i> ...	24
Gambar 3.8 Termometer	24
Gambar 3.9 PVA (<i>Polyvinyl Alcohol</i>)	25
Gambar 3.10 Aquades	25
Gambar 3.11 Aluminium Foil	26
Gambar 3.12 Diagram alir pembuatan larutan polimer	27
Gambar 3.13 Diagram alir fabrikasi <i>nanofiber</i>	29
Gambar 3.14 <i>Electrospinning</i> di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika ITS	30
Gambar 4.1 Hasil SEM <i>nanofiber</i> larutan PVA perbesaran 20.000x (a)Tegangan tinggi 10kV, (b)Tegangan tinggi 8kV, (c)Tegangan tinggi 6kV	34
Gambar 4.2 Hasil SEM <i>nanofiber</i> larutan PVA perbesaran 20.000x (a)jarak <i>nozzle to collector</i> 10cm, (b)jarak <i>nozzle to collector</i>	

15cm	36
Gambar 4.3 Hasil SEM <i>nanofiber</i> larutan PVA perbesaran 5.000x (a)konsentrasi larutan polimer sebesar 10% wt (b)konsentrasi larutan polimer sebesar 5% wt	37
Gambar 4.4 Pengaruh tegangan tinggi terhadap diameter <i>fiber</i> ..	38
Gambar 4.5 Pengaruh jarak <i>nozzle to collector</i> terhadap diameter <i>fiber</i>	39
Gambar 4.6 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap diameter <i>fiber</i>	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	49
Lampiran 2.	51

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nanoteknologi yang mulai dikembangkan dari tahun 1970 memiliki peluang yang sangat baik. Pada tahun 2020 mendatang akan menjadi puncak perkembangan nanoteknologi (Roosseno, 2008). Pemanfaatan nanoteknologi telah memberikan perkembangan yang cukup pesat dalam beberapa dekade terakhir ini di bidang tekstil. Aplikasi nanoteknologi dalam industri tekstil mampu menghasilkan produk yang lebih fungsional (Subbiah et al., 2005). Selain berkembang di bidang tekstil, nanoteknologi sudah mulai dilirik oleh dunia industri, baik di bidang pangan, kimia, keramik dan pertanian. Nanoteknologi menciptakan efisiensi pada sebuah produk. (Rochman, 2014).

Salah satu material hasil nanoteknologi adalah *nanofiber* (serat nano). Fabrikasi *nanofiber* dapat dilakukan dengan beberapa metode seperti teknik pemintalan serat multikomponen, *melt blowing*, dan *electrospinning*. Dari ketiga metode tersebut, *electrospinning* merupakan teknik yang cukup murah dan sederhana dalam pembuatan *nanofiber*. *Electrospinning* merupakan proses yang cukup efisien dengan memanfaatkan pengaruh medan listrik dalam menghasilkan serat (Wahyudi and Sugiyana, 2011).

Parameter *electrospinning* mempengaruhi diameter dan morfologi serat. Diameter dan morfologi serat yang sesuai dapat diaplikasikan untuk penelitian lebih lanjut. Setelah di uji, serat nano memiliki kinerja yang jauh lebih bagus daripada serat mikro (Ziabari et al., 2010). Oleh sebab itu dilakukan optimasi parameter pada *electrospinning* untuk menghasilkan serat terkecil. Banyak penelitian mengenai *electrospinning* yang fokus pada optimasi parameter guna mendapatkan ukuran dan morfologi serat nano yang bagus. Sejumlah peneliti sudah mempublikasikan beberapa pendapat dalam optimasi hasil ukuran dan morfologi serat nano dengan metode *Electrospinning*. Sahrul mengusulkan

bahwa untuk simulasi serat nano dengan menggunakan metoda *electrospinning* digunakan parameter pengaruh jarak *nozzle to collector*. Pada penelitian ini jarak 7cm-10cm menghasilkan ketidakstabilan jet berkurang sedangkan jarak 12.5cm-20cm meningkatkan ketidakstabilan. Penelitian ini menghasilkan jejari minimum yaitu 214nm dengan jarak *nozzle -collector* sebesar 20cm (Sahrul and Abdullah, 2009). Saehana melakukan optimasi parameter *electrospinning* dengan menggunakan teknik algoritma genetik pada tegangan listrik dan jarak *nozzle to collector*. Penelitian ini menghasilkan serat minimum 155nm dengan nilai optimum tegangan listrik dan jarak *nozzle to collector* sebesar 18.3kV dan 23.5cm (Saehana et al., 2011). Kurniawan mendesain dan mengembangkan sistem pengendalian terhadap tegangan listrik, laju aliran polimer, serta kecepatan pompa jarum suntik. Hasil penelitian ini menghasilkan jejari minimum 136.43nm dengan tegangan listrik yang digunakan 15kV dan kecepatan pompa syringe 5 RPM (Kurniawan et al., 2013). Maleki melakukan fabrikasi *nanofiber* dengan menggunakan tegangan tinggi DC 20kV, jarak *nozzle to collector* 40cm, konsentrasi larutan polimer 6% dan didapatkan diameter *nanofiber* sebesar 202.372nm (Maleki, M., 2010). Beberapa parameter yang sangat mempengaruhi terbentuknya serat memungkinkan untuk menghasilkan ukuran dan morfologi serat yang terkecil. Oleh karena itu pada tugas akhir ini penulis akan melakukan optimasi parameter tegangan listrik, jarak ujung jarum ke *collector*, serta konsentrasi larutan menggunakan metode *electrospinning*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- a) Bagaimana pengaruh tegangan tinggi, jarak *nozzle to collector*, serta konsentrasi larutan terhadap diameter dan morfologi *nanofiber*?

- b) Berapa nilai tegangan tinggi, jarak *nozzle to collector*, serta konsentrasi larutan yang dibutuhkan untuk mendapatkan *nanofiber* terkecil?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah maka dapat dirumuskan tujuan penelitian ini adalah:

- a) Untuk mengetahui pengaruh tegangan tinggi, jarak *nozzle to collector*, serta konsentrasi larutan terhadap diameter dan morfologi *nanofiber*.
- b) Untuk mendapatkan nilai dari tegangan tinggi, jarak *nozzle to collector*, serta konsentrasi larutan agar mampu menghasilkan diameter dan morfologi *nanofiber* terkecil.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, dibatasi beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- a) Bahan dasar yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah PVA (*Polyvinyl Alcohol*) jenis teknis serta aquades sebagai pelarutnya.
- b) Tegangan tinggi yang digunakan antara (6kV, 8kV, dan 10kV).
- c) Jarak *nozzle to collector* yang digunakan yaitu 10 cm dan 15 cm.
- d) Konsentrasi larutan yang digunakan yaitu 5%wt dan 10%wt
- e) Pengadukan larutan selama 1 jam dengan suhu antara 80°C sampai 90°C.
- f) *Flow rate* yang digunakan 1 μ L/h.
- g) Fabrikasi *nanofiber* selama 2jam.
- h) Uji terhadap diameter dan morfologi *nanofiber* hanya menggunakan uji SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian tugas akhir ini adalah dihasilkan parameter optimum untuk mendapatkan *nanofiber* terkecil.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut :

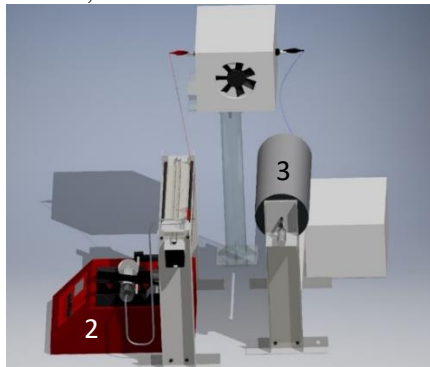
1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung analisis.
3. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi alat dan bahan, data penelitian, serta uraian mengenai metode-metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.
4. Bab I V – Analisis Data dan Pembahasan, menjelaskan tentang hasil-hasil yang didapat dari pengerjaan pada penelitian ini.
5. Bab V – Kesimpulan dan Saran, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisis data dan pembahasan serta saran-saran yang digunakan untuk mendukung penelitian selanjutnya.
6. Lampiran, berisi data – data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian ini.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Electrospinning

Electrospinning adalah alat yang dirancang untuk membuat serat nano (*nanofiber*) dengan menggunakan *high voltage* serta berprinsip pada medan listrik (Sahrul & Abdullah, 2009). *Nanofiber* yang dihasilkan mampu menciptakan efisiensi suatu produk (Shih et al., 2017). *Electrospinning* dapat membuat serat nano secara terus menerus dengan cara yang mudah dan biaya yang murah (Sahrul and Abdullah, 2009).

Electrospinning memiliki 3 bagian utama yang tertera pada Gambar 2.1, yakni: sumber daya tegangan tinggi, pompa *syringe* dan *spinneret*, serta *collector*.



Gambar 2.1 *Electrospinning*.

Electrospinning menggunakan tegangan tinggi yang dipasang pada ujung jarum suntik dan *collector*. Ujung jarum dihubungkan dengan kutub positif sumber tegangan, dan *collector* dihubungkan dengan kutub negatif sumber tegangan, seperti pada gambar 2.1. Kondisi ini menimbulkan larutan PVA yang berada pada jarum akan mengalami polarisasi dan menimbulkan medan listrik kearah *collector*. *Syringe pump* ditekan sehingga larutan menuju jarum suntik berbentuk *droplet* (tetesan). *Droplet* akan

mengalami gaya elektrostatik dan medan listrik. Adanya kedua gaya tersebut, *droplet* tertarik ke arah *collector* membentuk kerucut (*Taylor cone*) kemudian terlepas dari ujung jarum ke arah *collector* membentuk jet polimer (Patil et al., 2017). Jet tersebut membentuk serat *nonwoven* dengan ukuran sangat kecil yang disebut *nanofiber*. Deformasi *droplet* dikarenakan adanya muatan yang saling tolak menolak dari dalam larutan polimer dan diimbangi viskositas larutan (Indahwati and Triyana, 2016).

Gaya elektrostatik yang dilakukan muatan oleh larutan polimer (q) pada *collector* (q') memenuhi persamaan berikut.

$$F = \frac{kqq'}{r^2} \quad (1)$$

Medan listrik dan potensial listrik yang dihasilkan oleh larutan polimer pada *collector* dengan jarak r adalah sebagai berikut.

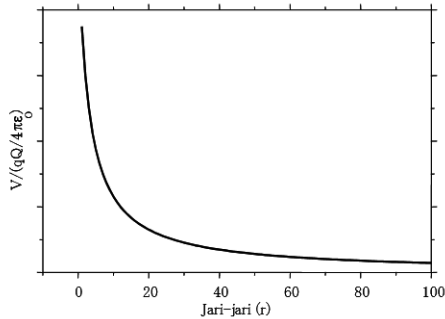
$$E = \frac{kq}{r^2} \quad (2)$$

$$V = \frac{kq}{r} \quad (3)$$

Dari persamaan (2) dan persamaan (3) diperoleh hubungan medan listrik dengan potensial listrik sebagai berikut

$$E = \frac{V}{r} \quad (4)$$

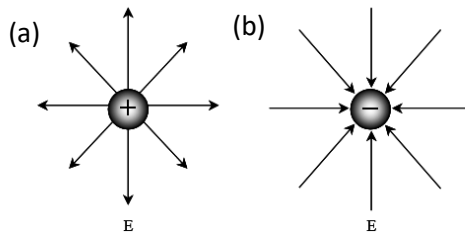
Dari persamaan diatas diperoleh medan listrik berbanding lurus dengan potensial dan berbanding terbalik dengan jarak. Jika dibuat grafik energi potensial terhadap jarak, maka mendapatkan hasil seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kurva energi potensial terhadap muatan(Abdullah, 2006)

Pada Gambar 2.2 diperoleh pada jarak r yang mendekati nol, energi potensial sangat besar. Arah medan listrik didefinisikan menjadi 2, yakni

- (a) Keluar dari muatan jika muatan tersebut memiliki tanda positif (Gambar 2.3 a).
- (b) Masuk ke muatan tersebut jika muatan memiliki tanda negatif (Gambar 2.3 b)(Abdullah, 2006).



Gambar 2.3 Arah medan listrik (a) keluar dari muatan positif dan (b) masuk ke muatan negatif(Abdullah, 2006)

Nanofiber yang terbentuk merupakan hasil dari penipisan dan penguapan larutan(Ziabari et al., 2010). Larutan yang keluar dari ujung jarum berbentuk droplet dengan ukuran kecil. Volume

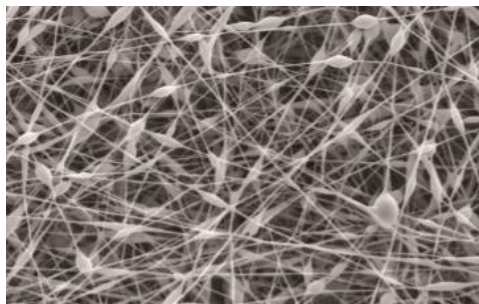
larutan ini dikendalikan oleh *syringe pump* dengan gerakan yang sangat lambat. Larutan yang digunakan pada *electrospinning* dapat berupa bahan polimer yang dilarutkan pada suatu pelarut. Bahan polimer yang digunakan yakni bahan yang mudah dicari, berasal dari alam, dan memiliki banyak aplikasi di segala bidang (Indahwati and Triyana, 2016).

Teknik *electrospinning* dikategorikan dalam dua sistem yang bergantung pada geometrinya, *electrospinning* vertikal atau mode statis dan *electrospinning* horizontal atau mode dinamis. *Electrospinning* vertikal, *collector* nya diam tidak berputar dan jatuhnya larutan dari jarum suntik ke *collector* searah dengan arah gravitasi. Sedangkan *Electrospinning* horizontal, *collector*nya berputar dan arah jatuhnya larutan ke *collector* tidak searah dengan arah gravitasi (Patil et al., 2017).

Ukuran dan morfologi dari *nanofiber* dapat dikontrol dengan parameter yang dibagi 3 kategori, yaitu: 1. Parameter larutan (viskositas larutan, konsentrasi larutan, berat molekul, konduktivitas larutan dan zat pelarut), 2. Parameter pengolahan (penggunaan tegangan listrik, jarak *nozzle* dengan *collector*, *flowrate* dan jari-jari *nozzle*), dan 3. Parameter lingkungan (suhu, kelembapan, dan tekanan atmosfer). Parameter-parameter diatas sangat mempengaruhi pembentukan diameter serat nano serta struktur atau morfologinya. (Saehana et al., 2013)

2.2 Nanofiber

Nanofiber merupakan serat padat *ultrafine* yang memiliki diameter sangat kecil. Ukuran diameter *nanofiber* yakni puluhan hingga ratusan nanometer sehingga disebut serat padat ultrafine terkenal. Penelitian terkait *nanofiber* sering dilakukan karena memiliki area permukaan per satuan massa yang besar dan ukuran pori kecil serta memiliki sifat mekanik yang superior. Pembuatan *nanofiber* dengan menggunakan *Electrospinning* merupakan hal yang mudah dibuat dengan ukuran diameter serat puluhan atau ratusan nanometer. Selain ukurannya, *nanofiber* ini dapat disimpan pada *collector* seperti pada Gambar 2.4 yakni berbentuk *nonwoven*.



Gambar 2.4 Hasil SEM *nanofiber* PVA (Şener et al., 2011).

Aplikasi *nanofiber* banyak digunakan di berbagai industri. Kualitas *nanofiber* tidak hanya bergantung pada sifat kimia dari larutannya saja, namun ukuran dan sifat mekaniknya tidak kalah penting. Ukuran *nanofiber*, densitas, sifat mekanik dan orientasi sangat penting untuk mendapatkan produk yang sukses. Ukuran dan morfologi dari *nanofiber* dapat divisualisasikan dan dapat ditentukan dengan beberapa teknik mikroskopis lainnya, seperti menggunakan SEM (Li & Wan, 2017).

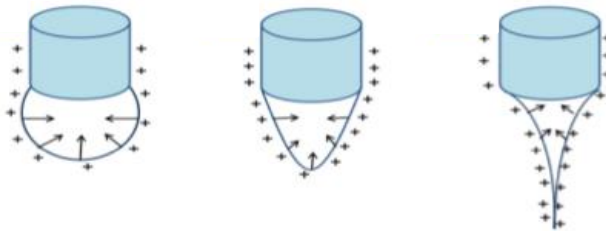
2.3 Parameter yang mempengaruhi hasil *electrospinning*

Banyak penelitian mengenai struktur nano dari bahan tertentu yang menggunakan metode *Electrospinning*. Aplikasinya dapat diterapkan diberbagai bidang misalnya bidang industri maupun bidang medis. Contoh aplikasinya yaitu filtrasi, desalinasi, reaksi katalistik, *protective clothing*, dan *sensor application*. Pengembangan suatu larutan menjadi bahan berukuran nano menggunakan *Electrospinning* dipengaruhi oleh beberapa parameter. Parameter yang mempengaruhi yakni tegangan tinggi, jarak *nozzle to collector*, dan konsentrasi larutan (Patil et al., 2017).

2.3.1 DC high voltage

Penggunaan *DC high voltage* pada *electrospinning* sangatlah penting. *DC high voltage* dipasang pada jarum dan

collector. *Collector* dihubungkan dengan kutub negatif sumber tegangan sehingga *collector* bermuatan negatif, dan jarum dihubungkan dengan kutub positif sumber tegangan sehingga jarum bermuatan positif. Larutan pada jarum mengalami polarisasi sehingga droplet bermuatan positif. Kondisi ini menimbulkan gaya elektrostatis antara droplet dan *collector* serta timbul medan listrik ke arah *collector* (Takasaki et al., 2015). Droplet yang mengalami gaya tersebut diimbangi oleh gaya tolakan muatan dan tegangan permukaan yang diakibatkan oleh viskositas, sehingga droplet memanjang membentuk kerucut yang dinamakan *Taylor Cone*. Droplet yang bermuatan akan mengalami perubahan bentuk dari semi *spherical*, *prolate*, dan *taylor cone* seperti pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Mekanisme efek tegangan tinggi terhadap muatan pada *liquid droplet* (Takasaki et al., 2015).

Tegangan tinggi DC yang diberikan melebihi tegangan kritis suatu droplet, maka setelah membentuk kerucut akan membentuk jet polimer atau serat nano yang terkumpul pada *collector*. Penggunaan *high voltage* pada *Electrospinning* harus diperhatikan. Pada studi penelitian, *high voltage* yang digunakan pada electrospinning yaitu sebesar 7-32 kV (Patil et al., 2017). Pemberian tegangan tinggi yang berlebihan terhadap jarak *nozzle collector* yang terlalu dekat menyebabkan timbulnya lucutan korona. Lucutan korona merupakan fenomena kelistrikan yang disebabkan oleh medan listrik yang terlalu besar diantara kedua

elektroda. Semakin besar tegangan maka semakin besar medan listrik yang dihasilkan, dan demikian sebaliknya (Takasaki et al., 2015). Penerapan tegangan tinggi pada *electrospinning* sangat penting dalam mempengaruhi diameter dan morfologi dari *nanofiber*. Kenaikan tegangan tinggi menyebabkan penurunan diameter *nanofiber* serta mempersingkat waktu larutan dari ujung jarum ke *collector* (Patil et al., 2017). Selain itu, kenaikan tegangan tinggi menyebabkan terbentuknya manik-manik (*beads*) dengan diikuti penipisan jet polimer dan kecepatan jet polimer pada laju aliran fluida yang sama. Tegangan tinggi yang digunakan dalam mempengaruhi pembuatan *nanofiber* tergantung jenis polimer yang digunakan. Tegangan tinggi yang diterapkan pada larutan polimer yang berbeda-beda maka hasil *nanofiber* yang dihasilkan juga berbeda. Hal tersebut karena larutan memiliki tegangan permukaan masing-masing (Haider et al., 2015).

2.3.2 Laju Aliran (*Flowrate*)

Laju aliran pada *electrospinning* yaitu aliran fluida dari *syringe pump* menuju *collector*. Laju larutan (*flowrate*) berpengaruh dalam pembentukan diameter dan morfologi *fiber*. Proses ini mempengaruhi laju transfer bahan dan kecepatan jet. Diameter *fiber* akan meningkat seiring dengan meningkatnya laju larutan yang digunakan. Peningkatan laju larutan menyebabkan rata-rata ukuran pori meningkat dari 90 nm sampai dengan 150 nm. Studi literatur laju larutan yang digunakan pada *electrospinning* yakni sebesar 0.3-3 ml/h. (Patil et al., 2017). Selain meningkatnya ukuran serat dengan meningkatnya laju aliran, juga dapat membentuk manik-manik. Hal tersebut dikarenakan penguapan yang kurang sempurna dan peregangan minimum larutan dari *nozzle to collector*. Kenaikan dan penurunan laju larutan mempengaruhi diameter serat. Laju aliran yang minimum lebih efektif dalam pembuatan serat nano dan pembentukan *Taylor cone* yang stabil. *Taylor cone* dan jet yang terbentuk tidak kontinyu selama proses berlangsung, karena setelah lepas dari *nozzle*, droplet akan membentuk ulang *Taylor cone* dan jet polimer yang

baru (Haider et al., 2015).

2.3.3 Jarak antara ujung jarum ke *collector*

Diameter dan morfologi *nanofiber* pada dasarnya dipengaruhi oleh jarak antara ujung jarum dengan *collector*. Jarak mempengaruhi diameter dan morfologi *fiber* dikarenakan jarak dapat menentukan waktu deposisi, tingkat penguapan, dan ketidakstabilan jet polimer. Oleh sebab itu, dibutuhkan jarak *nozzle to collector* yang optimum agar membentuk serat nano dengan diameter dan morfologi serat seperti yang diinginkan. Sejumlah penelitian telah mempelajari pengaruh jarak *nozzle to collector* dan menyimpulkan bahwa kenaikan jarak membuat diameter serat menurun namun ketidakstabilan jet polimer meningkat. Apabila terjadi penurunan jarak maka diameter serat meningkat dengan menurunnya ketidakstabilan jet. Jarak *nozzle to collector* yang diterapkan pada beberapa larutan yang memiliki viskositas berbeda, maka akan menghasilkan diameter serat yang berbeda pula (Haider et al., 2015). Berdasarkan penelitian Patil, umumnya jarak antara ujung jarum dengan *collector* yaitu 5 cm sampai dengan 25 cm. Tegangan tinggi diterapkan pada jarak antara ujung jarum dengan *collector* lebih rendah maka akan mempersingkat waktu larutan untuk tertangkap di *collector* (Patil et al., 2017).

2.3.4 Viskositas larutan dan Konsentrasi Larutan

Larutan yang digunakan pada *electrospinning* harus memiliki viskositas larutan. Viskositas dan tegangan permukaan pada larutan memiliki peranan penting dalam pembentukan serat. Viskositas larutan pada proses *electrospinning* berfungsi untuk mengimbangi larutan apabila dikenai medan listrik. Larutan polimer pada *nozzle* yang dikenai oleh medan akan berubah bentuk, dari tetesan fluida (*liquid droplet*) kemudian memanjang membentuk *prolate spherical* dan kemudian dilanjutkan dengan terbentuknya serat. Perubahan bentuk ini diakibatkan karena tegangan tinggi DC yang mengenai droplet diimbangi oleh tegangan permukaan larutan. Semakin tinggi konsentrasi larutan

maka viskositas semakin meningkat. Viskositas berpengaruh pada keterikatan rantai polimer. Keterikatan rantai polimer dapat mengatasi tegangan permukaan dan akhirnya mendapatkan *fiber* tanpa manik-manik. Apabila digunakan konsentrasi polimer rendah dan dikenai medan listrik cukup besar, menyebabkan rantai polimer terjerat masuk ke fragmen sebelum mencapai *collector*. Fragmen ini menyebabkan terbentuknya manik-manik pada serat *fiber* yang dihasilkan. Viskositas sangat rendah dapat menimbulkan *electrospraying*. *Electrospraying* adalah teknik untuk mengionisasi suatu senyawa. Oleh sebab itu, hasil yang didapatkan adalah manik-manik. Apabila viskositas larutan terlalu tinggi maka menghasilkan *fiber* dengan manik-manik. Viskositas yang tinggi sulit untuk memaksa larutan keluar dari jarum suntik sehingga kontrol pada jarum tidak stabil. Penelitian yang dilakukan oleh Haider menyebutkan bahwa terbentuknya manik-manik dikarenakan pengaruh viskositas (Haider et al., 2015). Larutan pada umumnya yang digunakan adalah PVP, PVA, PAN, PVAc, PS, PEO, PMMA (Patil et al., 2017). Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa selain parameter *electrospinning*, penentuan nilai kritis dari konsentrasi atau viskositas juga penting untuk mendapat *nanofiber* terkecil (Haider et al., 2015).

2.3.5 Konduktivitas Larutan

Konduktivitas larutan tidak hanya mempengaruhi pembentukan kerucut Taylor, tetapi juga membantu dalam mengendalikan diameter *nanofiber*. Larutan dengan konduktivitas yang rendah mengakibatkan permukaan tetesan memiliki muatan yang rendah pula sehingga sulit dalam pembentukan *Taylor Cone*. Larutan tidak akan tertarik pada *collector*, melainkan larutan akan mengembang seperti tetesan air pada batas volume tertentu dan akhirnya jatuh. *Electrospinning* dalam keadaan seperti ini tidak dapat terjadi. Apabila konduktivitas larutan meningkat ke nilai kritis, maka muatan akan meningkat pada permukaan dan diameter serat semakin kecil. Konduktivitas larutan pada *electrospinning* mempengaruhi gaya elektrostatis. Pembentukan *Taylor Cone*

sebagian besar dikarenakan kekuatan elektrostatis dari muatan permukaan yang diterapkan oleh medan listrik eksternal (komponen medan eksternal yang bersinggungan dengan permukaan cairan menginduksi gaya elektrostatis). Larutan dengan konduktivitas polimer rendah memiliki gaya elektrostatis yang tidak cukup dalam pembentukan *Taylor Cone* serta tidak cukup untuk melepaskan muatan. Sebaliknya, larutan polimer konduktif memiliki banyak muatan bebas yang cukup untuk bergerak ke permukaan cairan sehingga membentuk *Taylor Cone*. Selain itu mampu melepaskan muatan sehingga terjadi *electrospinning*. Gaya elektrostatis mempengaruhi pemanjangan dan penipisan jet polimer dalam pembentukan *nanofiber* (Haider et al., 2015).

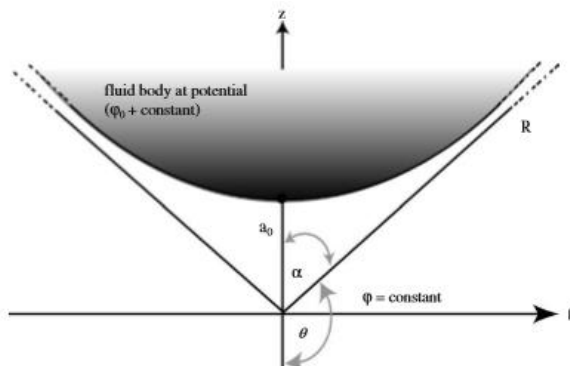
2.4 Taylor Cone Sebagai Larutan *Self-Similar*

Larutan polimer yang keluar dari *nozzle* berbentuk *semi spherical* dan memiliki potensial Φ_0 untuk mempertahankan keseimbangannya karena memiliki tegangan permukaan. Pengaruh potensial yang digunakan membuat muatan pada *semi spherical* terpolarisasi serta timbul gaya elektrostatis dan medan listrik ke arah *collector*. *Semi spherical* akan memanjang berbentuk *prolate* kemudian berbentuk kerucut (*taylor cone*) dan belum terbentuk jet polimer. Dalam kondisi seperti ini potensial *Taylor cone* sama seperti potensial awal, Φ_0 seperti pada Gambar 2.6. Apabila diberikan tegangan potensial yang cukup tinggi melebihi potensial kritis larutan, maka larutan tidak hanya memanjang membentuk *taylor cone* namun membentuk jet polimer. Hal ini dipengaruhi oleh keseimbangan antara gaya elektrostatis larutan dan tegangan permukaan. Apabila potensial awal, Φ_0 telah dicapai maka bentuk *taylor cone* akan dilanjutkan membentuk serat nano (*nanofiber*) yang terkumpul pada *collector*. Berikut adalah potensial droplet ketika potensial awal telah dicapai:

$$\Phi = \Phi_0 + (\sigma R)^{1/2} P_{1/2}(\cos\theta) \quad (5)$$

Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Reneker, *semi spherical* berubah bentuk menjadi *Taylor Cone* dan belum membentuk jet polimer dengan sudut $\alpha = 49.3^\circ$ terhadap sumbu z yang terlihat ada Gambar 2.6. Nilai dari $P_{1/2}(\cos\theta) = 0$, maka potensial droplet yang mengalami perubahan menjadi *Taylor Cone* pada keadaan setimbang adalah sebagai berikut (Reneker et al., 2007):

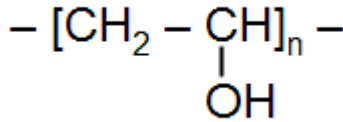
$$\Phi = \Phi_0 \quad (6)$$



Gambar 2.6 Bentuk droplet stabil dan transient droplet dengan pengaruh medan listrik (Reneker et al., 2007)

2.5 PVA (Polyvinyl Alcohol)

PVA (*polyvinyl alcohol*) merupakan padatan termoplastik yang memiliki sifat tidak berwarna, tidak berbau, tidak berasa, tidak larut pada sebagian besar pelarut organik dan minyak, tetapi larut dalam air. PVA berupa serbuk (powder) berwarna putih dan memiliki berat molekul 44,05 g/mol. PVA dapat larut dalam air pada suhu 79°C dan dapat berubah bentuk menjadi cair (*melting point*) pada suhu 200°C. Proses pemanasan PVA mengeluarkan CO, dan CO₂, PVA mudah terbakar apabila ada percikan api. Struktur kimia dari PVA yaitu (CH₂CHOH)_n dan dapat disajikan pada Gambar 2.7 berikut.



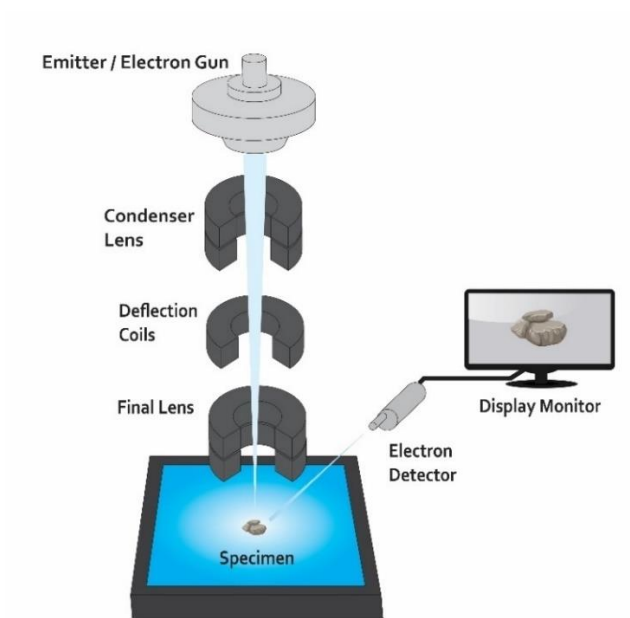
Gambar 2.7 Struktur kimia PVA

Secara komersial, PVA adalah plastik yang paling penting dalam pembuatan film. Hal ini ditandai dengan kemampuannya dalam pembentukan pengemulsi dan sifat adhesifnya. PVA memiliki kekuatan tarik yang tinggi, fleksibilitas yang baik dan sifat penghalang oksigen yang baik (“msds pva,” 2013).

2.6 Analisis Scanning Electron Microscopy (SEM)

Scanning Electron Microscopy (SEM) merupakan jenis mikroskop yang menggunakan elektron sebagai pengganti cahaya untuk melihat benda dengan resolusi tinggi. Analisis SEM bermanfaat untuk mengetahui mikrostruktur (termasuk porositas dan bentuk retakan) benda padat. Berkas sinar elektron dihasilkan dari filamen yang dipanaskan yang disebut *electron gun*.

Cara kerja SEM adalah gelombang *electron* yang dipancarkan *electron gun* terkondensasi di lensa kondensor dan terfokus sebagai titik yang jelas oleh lensa objektif (Gambar 2.8). *Electron gun* dilengkapi dengan katoda filamen tungsten. Tungsten ini memiliki titik lebur tinggi dan tekanan uap rendah pada golongan logam. *Scanning coil* yang diberi energi menyediakan medan magnetik bagi sinar elektron. Berkas sinar elektron yang mengenai cuplikan menghasilkan elektron sekunder dan kemudian dikumpulkan oleh detektor sekunder atau detektor *backscatter*. Gambar yang dihasilkan terdiri dari ribuan titik berbagai intensitas di permukaan *Cathode Ray Tube* (CRT) sebagai topografi gambar (Gunawan and Azhari, 2010). Pada sistem ini berkas elektron dikonsentrasikan pada spesimen, bayangannya diperbesar dengan lensa objektif dan diproyeksikan pada layar.



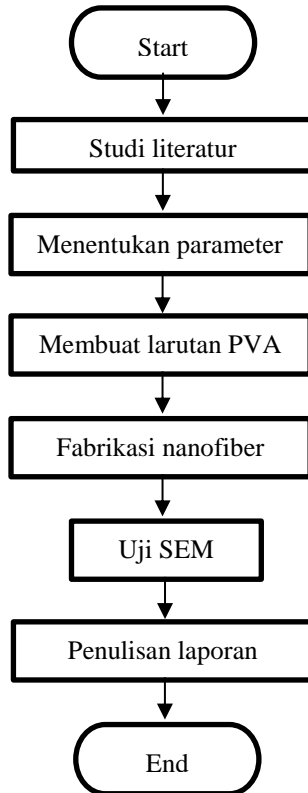
Gambar 2.8 Prinsip kerja *Scanning Electron Microscopy* (Gunawan and Azhari, 2010).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah. Berikut adalah diagram alir penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa penelitian diawali dengan studi literatur. Studi literatur mengenai *electrospinning*, parameter

yang mempengaruhi hasil *fiber* serta penelitian sebelumnya. Selanjutnya menentukan parameter yang paling berpengaruh terhadap pembentukan *nanofiber*. Kemudian, ditentukan pula variasi parameter untuk pengambilan data serta pembandingan data. Lalu dilakukan pembuatan larutan PVA dengan konsentrasi yang telah ditentukan. Setelah pembuatan larutan selesai, dipastikan alat berfungsi dengan baik dan benar. Selanjutnya, disiapkan bahan-bahan yang diperlukan, dan dilanjutkan dengan pengaktifan alat untuk fabrikasi *nanofiber*. Fabrikasi *nanofiber* dilakukan pada waktu yang telah ditentukan oleh penulis, yakni 2 jam. Setelah 2 jam usai, *nanofiber* yang terbentuk pada *collector* di lanjutkan dengan uji SEM guna mengetahui morfologi dan diameter *fiber*. Hasil dari uji tersebut dilakukan pengolahan data dan dilanjutkan dengan penulisan laporan.

3.2 Alat dan Bahan

Pada penelitian ini alat dan bahan yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

3.2.1 Alat

Alat yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. *DC high voltage*

Nanofiber yang diperoleh dengan metode *electrospinning* dapat terjadi apabila digunakan tegangan tinggi. Tegangan tinggi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan *high voltage* sebesar 6-10 kV. *High voltage DC* ditunjukkan pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



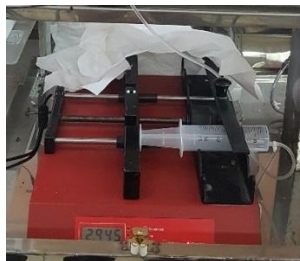
Gambar 3.2 Tegangan tinggi

b. *Syringe Pump* dan *Nozzle*

Nanofiber diperoleh dengan *electrospinning* menggunakan *syringe pump*, dimana *syringe pump* berfungsi untuk memompa larutan polimer menuju *nozzle* sehingga terbentuk droplet. *Nozzle* dan *syringe pump* ditunjukkan pada Gambar 3.3 sebagai berikut.



(a)

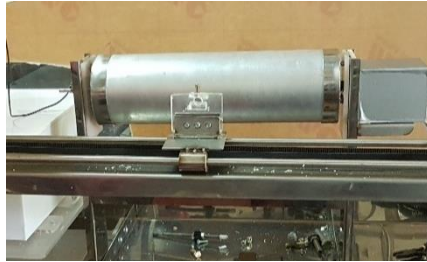


(b)

Gambar 3.3 *Electrospinning* (a) *nozzle*, (b) *syringe pump*

c. *Collector*

Collector yang digunakan pada metode *electrospinning* berbentuk silinder yang memiliki kecepatan putar. *Collector* berfungsi untuk menangkap jet polimer dari ujung jarum. *Collector* ditunjukkan pada Gambar 3.4 sebagai berikut.



Gambar 3.4 *Collector*

d. Gelas Beker dan *Glass Rod*

Gelas beker digunakan untuk mengukur volume larutan serta digunakan sebagai wadah larutan. *Glass rod* digunakan untuk mengaduk larutan PVA. Gelas beker dan *glass rod* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.5.



(a)



(b)

Gambar 3.5 (a) Gelas beker 250 ml dan (b) *Glass rod*

e. Timbangan Digital

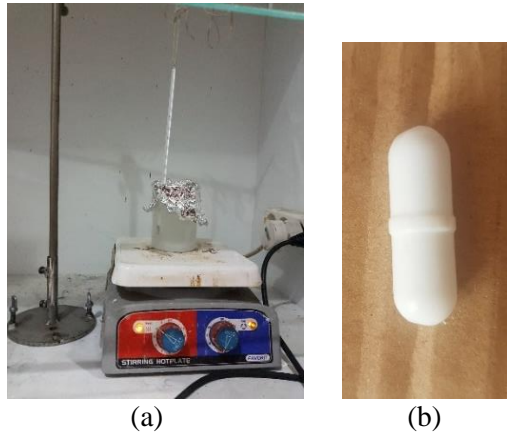
Timbangan digital diperlukan pada penelitian ini untuk menimbang serbuk PVA seperti pada Gambar 3.6 sebagai berikut.



Gambar 3.6 Timbangan digital

f. *Magnetic Hotplate Stirrer* dan *Magnetic Stirrer*

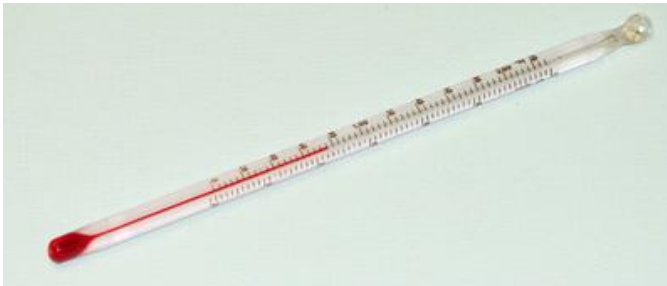
Magnetic hotplate stirrer dibutuhkan pada penelitian ini karena larutan polimer perlu diaduk dengan kecepatan dan suhu tertentu selama waktu yang telah ditentukan. Pengadukan ini dilakukan dengan menggunakan *magnetic stirrer* karena pengadukan tidak dilakukan secara langsung, namun memanfaatkan magnet pada *hotplate* dan *stirrer* nya. *Magnetic Hotplate Stirrer* dan *Magnetic Stirrer* dapat ditunjukkan pada Gambar 3.7 sebagai berikut.



Gambar 3.7 (a) *magnetic hotplate stirrer* (b) *magnetic stirrer*

g. Termometer

Termometer dibutuhkan pada penelitian sebagai pengukur suhu larutan polimer saat dalam pengadukan seperti pada Gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 Termometer

3.2.2 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain adalah:

a. PVA (*Polyvinyl Alcohol*)

PVA merupakan bahan yang digunakan pada penelitian ini. PVA sebagai zat terlarut larutan polimer seperti pada Gambar 3.9 sebagai berikut.



Gambar 3.9 PVA (*Polyvinyl Alcohol*)

b. Aquades

Aquades merupakan zat pelarut yang digunakan pada penelitian ini seperti pada Gambar 3.10 berikut.



Gambar 3.10 Aquades

c. Aluminium Foil

Aluminium foil berfungsi sebagai alas *collector* untuk menangkap polimer seperti pada Gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Aluminium Foil

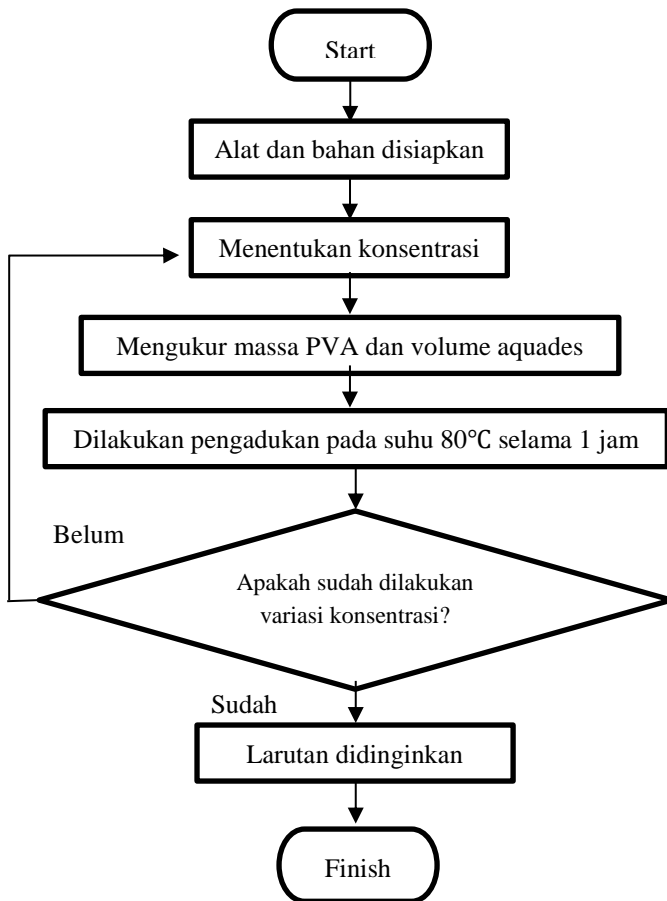
3.3 Langkah Kerja

Langkah kerja pada penelitian ini dibagi menjadi 2 bagian. Bagian pertama yaitu pembuatan larutan polimer dan bagian kedua yaitu fabrikasi *nanofiber*.

3.3.1 Pembuatan larutan polimer

Larutan polimer pada penelitian ini dibuat dari serbuk PVA. PVA sebagai zat terlarut dan aquades sebagai zat pelarut. Langkah-langkah dalam pembuatan larutan polimer yaitu disiapkan alat dan bahan. Kemudian dilanjutkan menentukan konsentrasi larutan. Konsentrasi larutan yang digunakan pada penelitian ini sebesar 5%wt dan 10%wt. Selanjutnya dilakukan pengukuran massa PVA dan volume aquades. Pada penelitian ini konsentrasi 5%wt terdiri dari 7.5 gram PVA dan 150 ml aquades, sedangkan konsentrasi 10%wt terdiri dari 10 gram PVA dan 100 ml aquades. Penimbangan PVA menggunakan timbangan digital dan pengukuran aquades menggunakan gelas beker. Setelah di ukur, PVA dan aquades dicampur dalam satu gelas beker.

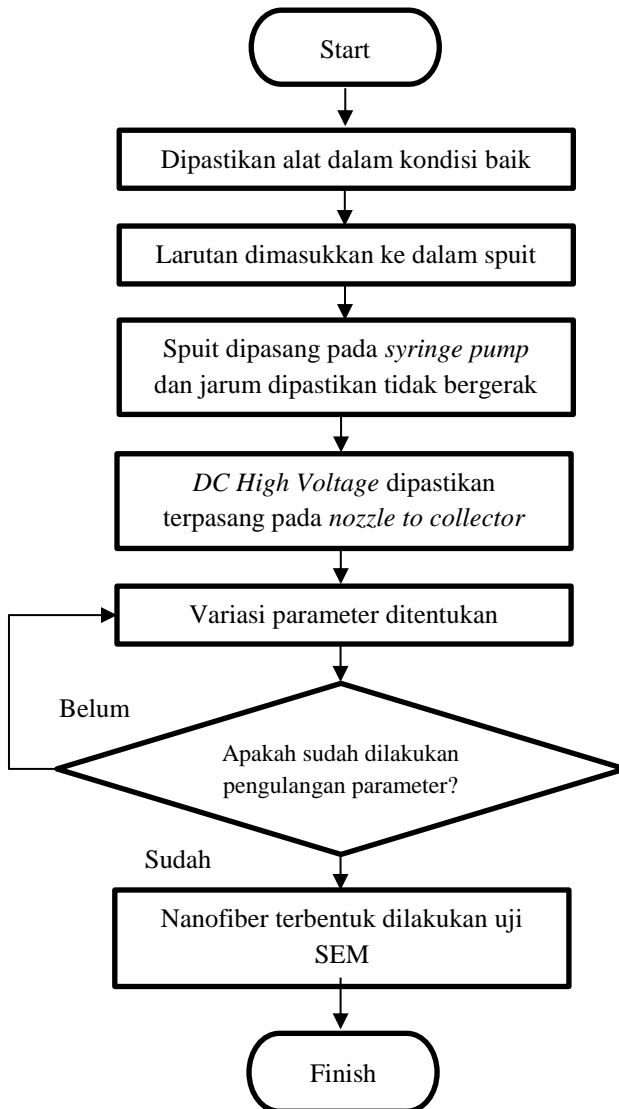
Kemudian *magnetic stirrer* dimasukkan pada gelas beker, selanjutnya diletakkan diatas *hotplate magnetic stirrer* yang telah di aktifkan. Suhu diatur agar mencapai 80°C-90 °C. Setelah suhu telah sesuai, *stirrer* dinyalakan dan proses pengadukan ini dilakukan selama satu jam. Setelah usai, alat dimatikan dan larutan didinginkan. Berikut adalah diagram alir dalam pembuatan larutan polimer pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12 Diagram alir pembuatan larutan polimer

3.3.2 Fabrikasi *nanofiber*

Setelah larutan dibuat, kemudian dilanjutkan fabrikasi *nanofiber* pada alat *electrospinning* dengan langkah-langkah sebagai berikut. Pertama alat *electrospinning* dipastikan dalam kondisi baik dan siap digunakan. Larutan polimer yang telah dibuat, dimasukkan ke dalam spuit 50 cc. Larutan pada spuit diusahakan tidak ada gelembung udara. Jika terdapat gelembung udara yang terjebak dalam spuit, maka harus dikeluarkan. Kemudian dipasang selang infus yang terhubung dengan jarum suntik. Pemasangan ini tidak boleh ada gelembung. Setelah spuit tidak ada gelembung dan siap digunakan, spuit diletakkan pada *syringe pump* dan jarum suntik dimasukkan pada tempat jarum. Jarum dieratkan supaya jarum tidak bergerak dan dalam kondisi tetap. Kutub positif sumber tegangan dihubungkan pada jarum dan kutub negatif sumber tegangan dihubungkan pada *collector*. Kemudian ditentukan variasi parameter untuk fabrikasi *nanofiber*. Variasi parameter pada penelitian ini digunakan pengaruh *DC high voltage* terhadap diameter *fiber*, pengaruh jarak *nozzle to collector* terhadap diameter *fiber*, dan pengaruh konsentrasi larutan polimer terhadap diameter *fiber*. Pengaruh *DC high voltage*, dengan menggunakan variasi 6kV, 8kV, dan 10kV. Pengaruh jarak *nozzle to collector*, dengan menggunakan variasi 10cm dan 15cm. Pengaruh konsentrasi larutan polimer, dengan menggunakan variasi 5%wt dan 10%wt. Proses fabrikasi *nanofiber* dilakukan selama dua jam. Setelah semua variasi parameter sudah dilakukan, hasil *nanofiber* yang tertangkap pada *collector* diuji SEM untuk mengetahui morfologi dan diameter *fiber*. Fabrikasi *nanofiber* dapat dilihat pada diagram alir berikut ini.



Gambar 3.13 Diagram alir fabrikasi *nanofiber*

3.3.3 *Electrospinning*

Berikut adalah alat *electrospinning* yang digunakan dalam fabrikasi *nanofiber*.



Gambar 3.14 *Electrospinning* di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika ITS

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini, berisi tentang prinsip *electrospinning* dan bagaimana pengaruh parameter *electrospinning* terhadap diameter dan morfologi *fiber*. Morfologi mengindikasikan terbentuknya *bead* dan *fiber* pada hasil *fabrikasi nanofiber*.

4.1 Prinsip *Electrospinning*

Electrospinning merupakan alat untuk membuat *nanofiber* menggunakan tegangan tinggi. Bagian utama dari *electrospinning* ada 3 seperti pada Gambar 3.14, yakni tegangan tinggi, pompa *syringe* dan *nozzle*, serta *collector*. Tegangan tinggi yang digunakan yaitu tegangan tinggi DC, hal ini dikarenakan tegangan dapat memberi potensial *plus* saja atau *minus* saja. Pompa *syringe* berfungsi untuk menekan larutan pada spuit sehingga larutan diteruskan ke ujung jarum dengan membentuk droplet. *Collector* merupakan alat sebagai tempat pengumpul *nanofiber*. Kutub positif sumber potensial dihubungkan pada jarum (*nozzle*), dan kutub negatif sumber potensial dihubungkan pada *collector*. Hal ini menyebabkan adanya medan listrik dan gaya elektrostatis. Kedua gaya tersebut berinteraksi dengan gaya tegang permukaan droplet, sehingga droplet berbentuk kerucut (*Taylor cone*). Ketika medan listrik dinaikkan, formasi jet akan keluar dari ujung *taylor cone*. Polimer jet akan mengalami gangguan sehingga terjadi *bending* dan akhirnya *nanofiber* terkumpul di *collector*. Proses tahapan-tahapan tersebut dijelaskan lebih rinci, yakni sebagai berikut.

4.1.1 Tahap Pembentukan *Taylor Cone*

Fabrikasi *nanofiber* diawali dari sebuah *droplet*. Droplet akan mengalami deformasi bentuk sehingga berbentuk *Taylor Cone*. *Taylor Cone* memiliki peranan penting dalam menginisiasi terbentuknya *nanofiber*. Pada tahap ini dibutuhkan adanya medan listrik dan gaya elektrostatis. Tanpa adanya kedua gaya ini maka larutan polimer yang keluar dari *nozzle* hanya akan menetes dan

tidak bisa melanjutkan proses berikutnya untuk fabrikasi *nanofiber*. Adanya medan listrik dan gaya elektrostatis, droplet mengalami deformasi bentuk dari bentuk tetesan kemudian memanjang membentuk *prolate shape*, kemudian menjadi kerucut (*Taylor Cone*). Muatan yang berada pada ujung permukaan larutan akan menimbulkan gaya elektrostatis dan medan listrik ke arah *collector*. Akumulasi densitas muatan yang dikenai medan listrik menjadikan muatan-muatan bergerak ke ujung meniskus dan mengubah bentuk menjadi *taylor cone*.

4.1.2 Tahap penipisan *fiber*

Tahap penipisan *fiber* terjadi saat diameter *fiber* mengecil akibat terjadinya peristiwa *bending instability* pada aliran jet. Aliran jet mulanya bergerak dalam lintasan lurus, setelah itu akan terjadi gerakan seperti *bending*. Semakin jauh jarak *nozzle to collector* maka akan mengakibatkan penurunan diameter serat, selain itu juga dapat menyebabkan timbulnya manik-manik.

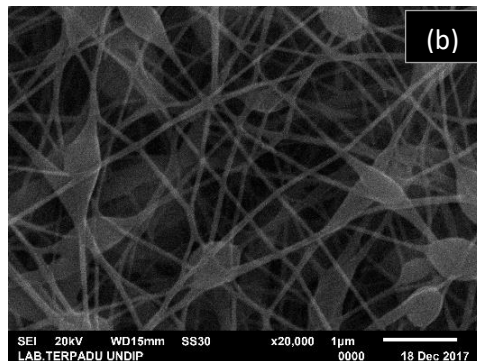
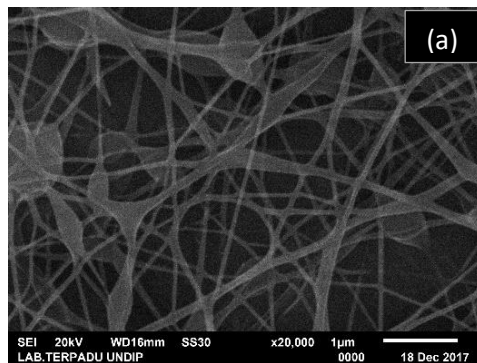
4.1.3 Tahap *solidification*

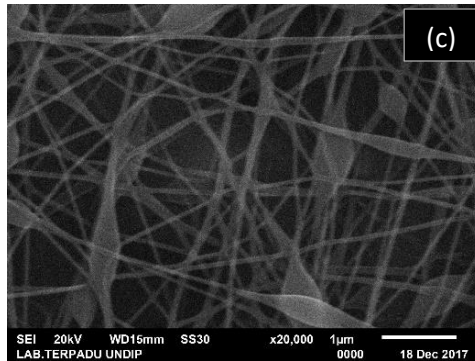
Pada tahap ini merupakan tahap akhir dalam pembentukan *nanofiber*. Tahap ini terkait dengan titik penguapan pelarut. Setiap pelarut membutuhkan waktu penguapan yang berbeda. Lamanya waktu penguapan dikorelasikan dengan pengaturan jarak *nozzle to collector*. Semakin panjang jarak *nozzle to collector* maka semakin lama waktu penguapan, begitu pula sebaliknya. Setelah mengalami penguapan, selanjutnya didapatkan serat yang terkumpul di *collector* dengan bentuk *nonwoven*.

4.2 Parameter *Electrospinning*

Fabrikasi *nanofiber* dipengaruhi oleh beberapa parameter. Parameter yang mempengaruhi *electrospinning* dikelompokkan menjadi 3 bagian, yakni parameter larutan, parameter proses, dan parameter lingkungan. Parameter larutan adalah viskositas larutan, konsentrasi larutan, berat molekul, konduktivitas larutan dan zat

pelarut. Parameter proses adalah penggunaan tegangan listrik, jarak *nozzle to collector*, *flowrate* dan jari-jari *nozzle*. Parameter lingkungan adalah suhu, kelembapan, dan tekanan atmosfer. Fabrikasi *nanofiber* paling dipengaruhi oleh 3 parameter yakni tegangan tinggi, jarak *nozzle to collector*, dan konsentrasi larutan polimer. Setelah dilakukan pembuatan larutan polimer selama 1 jam dengan suhu 80°C dan fabrikasi *nanofiber* selama 2 jam diperoleh data sebagai berikut.

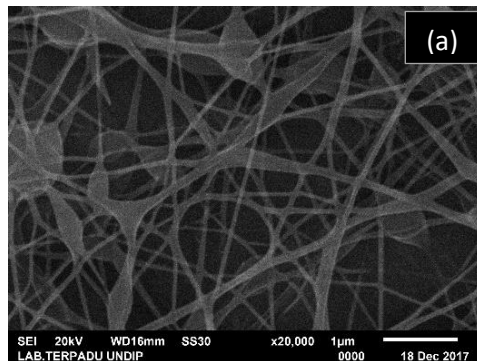


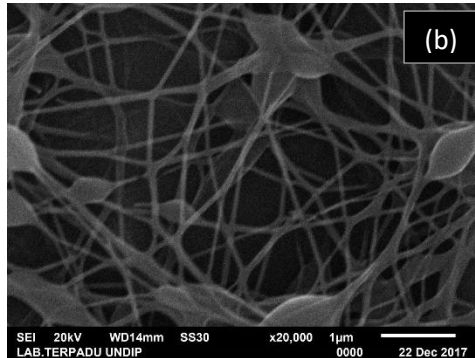


Gambar 4.1 Hasil SEM *nanofiber* larutan PVA perbesaran 20.000x
(a)Tegangan tinggi 10kV, (b)Tegangan tinggi 8kV, (c)Tegangan tinggi 6kV

Dari Gambar 4.1 menunjukkan morfologi hasil uji SEM larutan PVA dengan parameter tetap jarak *nozzle to collector* 10cm, konsentrasi larutan 5% wt, dan *flowrate* 1 μ L/h. Morfologi menunjukkan persebaran antara *bead* dan *fiber* yang terbentuk. Hasil uji SEM menunjukkan terbentuknya *nanofiber* dan terbentuknya manik-manik (*beads*). Diameter manik-manik pada tegangan 6kV, 8kV, dan 10kV berturut-turut adalah 267nm, 506nm, dan 574nm. Semakin meningkat tegangan tinggi maka diameter manik-manik semakin meningkat. Hal ini terjadi karena jet polimer mengalami gangguan sehingga terjadi *bending*. *Bending* adalah pembengkokan jet polimer, sehingga mengakibatkan terbentuknya manik-manik sebelum mencapai kolektor. Oleh sebab itu *high voltage* yang terlalu besar dan terlalu kecil tidak bagus dalam fabrikasi *nanofiber*. Tegangan tinggi yang tepat sangat diperlukan untuk terbentuknya *nanofiber* tanpa manik-manik atau dengan ukuran manik-manik yang lebih kecil. Tegangan tinggi hanya mempengaruhi ukuran jet polimer, namun untuk morfologi *nanofiber*, tegangan tinggi tidak terlalu berpengaruh.

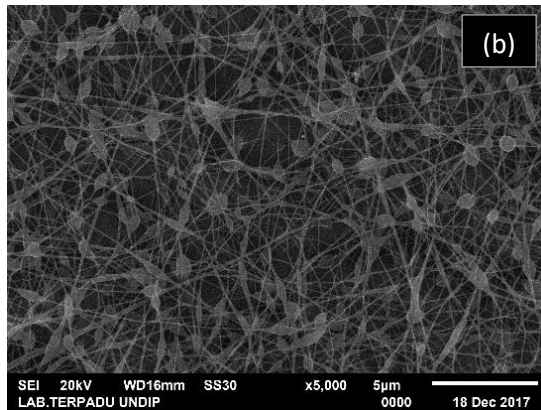
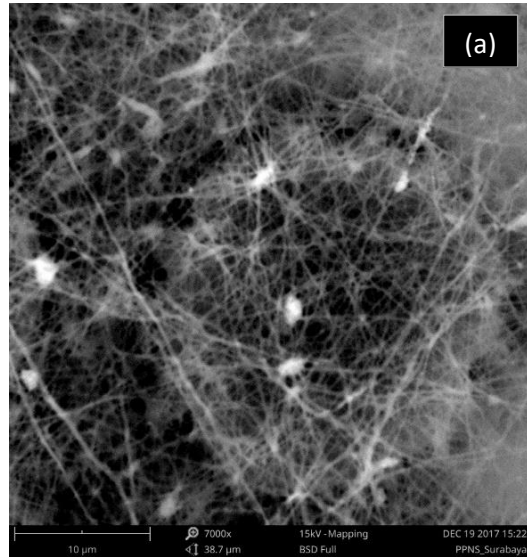
Tegangan tinggi yang dilakukan pada penelitian ini tidak hanya menggunakan 6kV, 8kV, dan 10kV. Namun menggunakan 15kV dan 12kV. Kedua tegangan tinggi tersebut tidak dilanjutkan dalam pengambilan data, karena muncul korona atau lucutan listrik pada bagian *nozzle*. Munculnya korona dapat mengganggu proses pembentukan *Taylor cone* dan apabila dioperasikan terus menerus, dikhawatirkan terjadi konslet pada sistem. Munculnya korona ini diakibatkan tegangan tinggi yang digunakan terlalu besar dan mengakibatkan medan listrik semakin besar pula. Karena hal tersebut, elektron dari potensial listrik dapat menumbuk atom gas disekelilingnya sehingga elektron terlepas dari ikatan atom gas. Terlepasnya elektron menuju ke keadaan yang lebih tinggi, kemudian elektron kembali ke keadaan yang lebih rendah dengan memancarkan foton atau cahaya. Dengan demikian proses korona terjadi. *Eletrospinning* ini dapat beroperasi dengan medan listrik maksimum sebesar 1kV/cm. Tegangan tinggi minimum yang digunakan pada alat *electrospinning* ini belum diketahui secara pasti. Namun pada penelitian ini, tegangan minimum yang dapat digunakan yaitu 6kV. Pengukuran tegangan permukaan larutan PVA sangat dibutuhkan guna mengetahui besar potensial listrik minimum yang digunakan.





Gambar 4.2 Hasil SEM *nanofiber* larutan PVA perbesaran 20.000x
(a)jarak *nozzle to collector* 10cm, (b)jarak *nozzle to collector* 15cm

Dari Gambar 4.2 diperoleh dengan parameter tetap *high voltage DC* sebesar 10kV, konsentrasi 5% wt, dan *flowrate* 1 μ L/h. Gambar diatas dapat ditarik kesimpulan bahwa pengaruh parameter jarak *nozzle to collector* terhadap morfologi *nanofiber* yang terbentuk tidak terlalu berpengaruh. Kedua gambar tersebut terlihat mirip, *fiber* tersusun secara kontinyu. Manik-manik yang dihasilkan oleh Gambar 4.2 (b) lebih banyak. Hal tersebut dikarenakan ketidakstabilan jet polimer apabila jarak yang digunakan terlalu panjang, sehingga terbentuk manik-manik. Pada dasarnya pengaruh jarak *nozzle to collector* hanyalah pada penguapan jet, sehingga jarak dengan beda 5cm, morfologi *fiber* tidak terlalu terlihat secara signifikan.

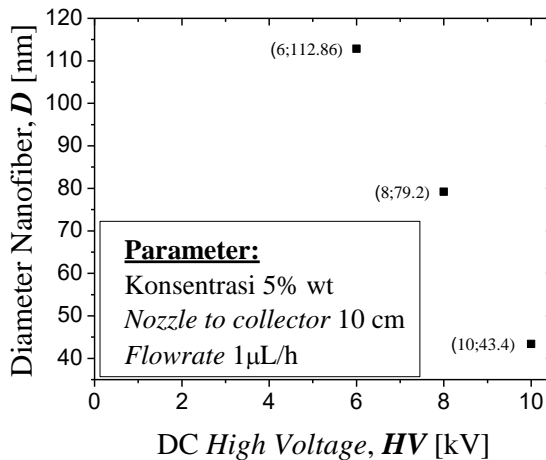


Gambar 4.3 Hasil SEM *nanofiber* larutan PVA perbesaran 5.000x
 (a) konsentrasi larutan polimer sebesar 10% wt (b) konsentrasi larutan polimer sebesar 5% wt

Dari Gambar 4.3 diperoleh dengan parameter tetap *high voltage DC* 10kV, jarak *nozzle to collector* 10cm, dan *flowrate*

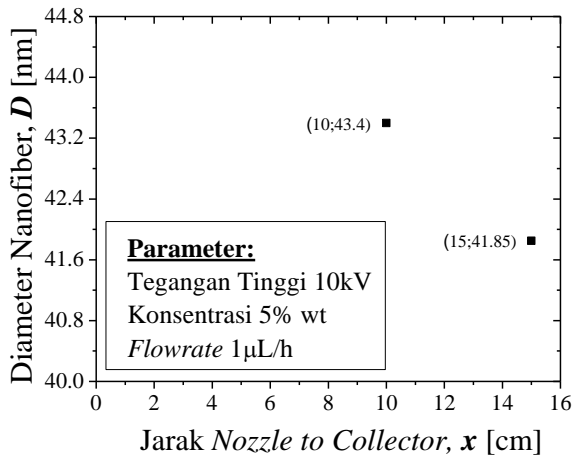
1 μ L/h. Gambar 4.3 menunjukkan bahwa pembentukan manik-manik pada konsentrasi 10% sangat sedikit jika dibandingkan dengan larutan 5%. Hal tersebut dikarenakan tegangan permukaan dan viskositas larutan mampu mengimbangi gaya elektrostatik dan medan listrik secara optimal. Sehingga serat yang dihasilkan kontinyu dan manik-manik berkurang. Dengan demikian dapat disimpulkan, bahwa dari parameter konsentrasi sangat berpengaruh terhadap morfologi *nanofiber* dibandingkan dengan parameter lainnya yang telah dilakukan. Pada umumnya larutan tertarik ke arah *collector* namun pada percobaan terdapat larutan yang tertarik ke arah *body*. Hal ini perlu diperhatikan ketika dilakukan fabrikasi *nanofiber*, agar didapatkan fiber sesuai yang diharapkan.

Parameter *electrospinning* tidak hanya mempengaruhi morfologi *fiber*, namun juga dapat mempengaruhi diameter *fiber*. Berikut adalah pengaruh parameter tegangan tinggi, jarak *nozzle to collector*, dan konsentrasi larutan polimer PVA terhadap diameter *fiber* yang dihasilkan.



Gambar 4.4 Pengaruh tegangan tinggi terhadap diameter *fiber*

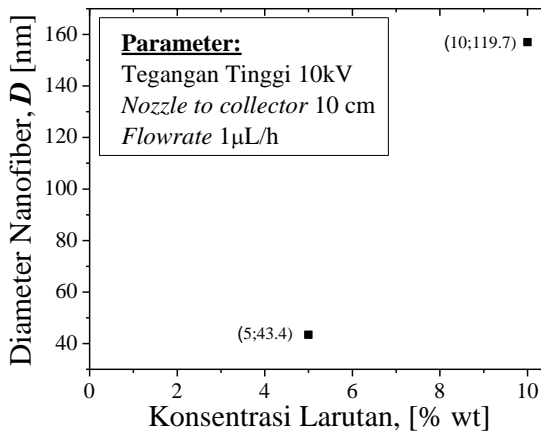
Dari Gambar 4.4 menunjukkan hubungan antara *DC high voltage* dengan diameter *fiber*. Semakin kecil *DC high voltage* maka semakin besar diameter *fiber*. Hal ini dikarenakan gaya elektrostatis tidak cukup kuat untuk menarik droplet yang diimbangi oleh tegangan permukaan. Sehingga deformasi droplet belum sepenuhnya menipis. Semakin besar *DC high voltage* maka semakin kecil diameter *fiber*. Gaya elektrostatis yang terjadi cukup kuat untuk menarik droplet yang diimbangi dengan tegangan permukaan sehingga deformasi droplet yang terjadi cukup sempurna. Pemanjangan jet sehingga jet menipis menyebabkan diameter *fiber* menurun. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh *DC high voltage* terhadap diameter *fiber* adalah berbanding terbalik. Hasil yang diperoleh sesuai dengan teori yang ada.



Gambar 4.5 Pengaruh jarak *nozzle to collector* terhadap diameter *fiber*

Pada Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara jarak *nozzle to collector* dengan diameter *fiber*. Semakin kecil jarak *nozzle to collector* maka semakin kecil diameter *fiber* yang terbentuk.

Pendeknya jarak *nozzle to collector* membuat penguapan dan penipisan jet dilakukan kurang maksimal. Apabila jarak *nozzle to collector* lebih panjang, maka penguapan akan terjadi secara maksimal. Selain itu, jarak yang terlalu panjang dapat membuat jet mengalami ketidakstabilan. Sehingga jet tidak tertarik lurus melainkan terjadi *bending*. *Bending* akan membentuk manik-manik pada morfologi *fiber*. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh jarak *nozzle to collector* terhadap diameter *fiber* adalah berbanding terbalik. Hasil yang diperoleh sesuai dengan teori yang ada.



Gambar 4.6 Pengaruh konsentrasi larutan terhadap diameter *fiber*

Pada Gambar 4.6 menunjukkan hubungan antara konsentrasi larutan dengan diameter *fiber*. Semakin kecil konsentrasi larutan polimer maka semakin kecil diameter *fiber* yang terbentuk. Konsentrasi berbanding lurus dengan viskositas. Penurunan konsentrasi menyebabkan penurunan viskositas larutan. Viskositas merupakan kekentalan suatu fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan didalam fluida. Suatu fluida dengan konsentrasi

rendah maka tegangan permukaannya rendah, karena gesekan di dalam fluida dan gaya kohesinya rendah. Kondisi ini dapat dengan mudah ditarik oleh gaya elektrostatis menuju *collector* dengan terbentuknya jet polimer yang tipis. Demikian sebaliknya jika konsentrasi tinggi, maka viskositas tinggi. Viskositas tinggi menyebabkan gesekan dalam fluida besar karena gaya kohesi yang kuat. Konsentrasi yang tinggi ini menyebabkan gaya elektrostatis susah menarik droplet menuju *Taylor cone* maupun jet polimer. Sehingga droplet mengalami pemanjangan dan penipisan jet kurang sempurna dan dihasilkan *fiber* dengan diameter lebih besar. Hal ini dapat disimpulkan bahwa pengaruh konsentrasi larutan polimer terhadap diameter *fiber* adalah berbanding lurus. Hasil yang diperoleh sesuai dengan teori.

Hasil nanofiber dilakukan SEM-EDX untuk mengetahui unsur dari fabrikasi *nanofiber* seperti pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Hasil uji SEM-EDX *nanofiber* larutan PVA

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
CK	03.66	07.81
OK	01.18	01.88
AlK	95.16	90.31
Matrix	Correction	ZAF

Hasil uji SEM-EDX yang terdapat pada Tabel 4.1 merupakan hasil dari fabrikasi nanofiber dengan parameter konsentrasi larutan 5%wt, *high voltage DC* 10kV, jarak nozzle to collector 15cm, dan *flowrate* 1 μ L/h. Berdasarkan tersebut dapat diketahui bahwa *nanofiber* pada larutan PVA terdiri dari beberapa unsur kimia. Unsur-unsur kimia tersebut yaitu Al (Aluminium) sebesar 95.16%, O (Oksigen) sebesar 1.18%, dan C (Karbon) sebesar 3.66%. Unsur Al merupakan unsur yang terdapat pada aluminium foil, sedangkan unsur C dan O merupakan unsur yang terdapat pada larutan polimer (PVA).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh tegangan tinggi terhadap diameter *fiber* yang dihasilkan adalah berbanding terbalik. Pengaruh jarak *nozzle to collector* terhadap diameter *fiber* yang dihasilkan adalah berbanding terbalik. Pengaruh konsentrasi larutan polimer terhadap diameter *fiber* yang dihasilkan adalah berbanding lurus. Pada ketiga parameter penelitian ini, pengaruh konsentrasi larutan sangat mempengaruhi morfologi *nanofiber* dibandingkan yang lainnya.
2. Fabrikasi diameter *fiber* terkecil didapat ketika tegangan tinggi 10kV, jarak *nozzle to collector* 15cm, dan konsentrasi larutan polimer 5% wt. Morfologi *fiber* dengan pembentukan *bead* minimum diperoleh ketika tegangan tinggi 10kV, jarak *nozzle to collector* 10cm, dan konsentrasi larutan polimer 10% wt.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu:

1. Dilakukan variasi parameter lebih banyak lagi untuk data pembandingan.
2. Digunakan bahan isolator pada *body* di bawah jarum agar *fiber* tidak tertarik ke *body*.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M., 2006. Diktat Kuliah Fisika Dasar II TPB ITB.
- Gunawan, B., Azhari, C.D., 2010. Karakterisasi Spektrofotometri IR dan Scanning Electron Microscopy (SEM) sENSOR Gas dari Bahan Polimer Poly Ethelyn Glycol (PEG). J. Sains Dan Teknol. 3.
- Haider, A., Haider, S., Kang, I.-K., 2015. A comprehensive review summarizing the effect of electrospinning parameters and potential applications of nanofibers in biomedical and biotechnology. Arab. J. Chem. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.11.015>
- Indahwati, E., Triyana, K., 2016. FABRIKASI NANOFIBER GELATIN DENGAN METODE ELECTROSPINING DAN EFEK PENAMBAHAN ETHYLENE GLYCOL PADA MORFOLOGINYA. J. Rekayasa Keteknikan Dan Optimasi 1.
- Kurniawan, D., Adhi, P., Nasir, M., 2013. DESIGN AND DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR NANOFIBER ELECTROSPINNING. Mechatron. Electr. Power Veh. Technol. 4.
- msds pva [WWW Document], 2013. URL https://www.google.co.id/search?q=msds+pva&rlz=1C1CHBF_enID690ID690&oq=msds+pva&aqs=chrome..69i57j0l5.1662j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8 (accessed 12.28.17).
- Patil, J.V., Mali, S.S., Kamble, A.S., Hong, C.K., Kim, J.H., Patil, P.S., 2017. Electrospinning: A versatile technique for making of 1D growth of nanostructured nanofibers and its applications: an experimental approach. Appl. Surf. Sci.
- Reneker, D.H., Yarin, A.L., Zussman, E., Xu, H., 2007. Electrospinning of nanofibers from polymer solutions and melts. Adv. Appl. Mech. 41, 43–346.
- Rochman, N., 2014. Nanoteknologi: Teknologi Masa Depan | Pusat Inovasi LIPI [WWW Document]. URL

- <http://www.inovasi.lipi.go.id/id/berita/nanoteknologi-teknologi-masa-depan> (accessed 9.18.17).
- Roosseno, 2008. Jembatan dan Menjembatani. Yayasan Obor Indonesia.
- Saehana, S., Iskandar, F., Abdullah, M., Khairurrijal, K., 2011. Optimasi Parameter Pemintalan Elektrik Menggunakan Teknik Algoritma Genetika: Tegangan Listrik dan Jarak Nozzle-Kolektor. *J. Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi* 3, 105.
- Saehana, S., Iskandar, F., Abdullah, M., others, 2013. Optimization of electrospinning parameter by employing genetic algorithm in order to produce desired nanofiber diameter. *World Acad. Sci. Eng. Technol. Int. J. Chem. Mol. Nucl. Mater. Metall. Eng.* 7, 86–91.
- Sahrul, S., Abdullah, M., 2009. Simulasi Fabrikasi Serat Nano (Nanofiber) dengan Metoda Pemintalan Elektrik (Electrospinning): Pengaruh Jarak Nozzle-Kolektor. *J. Nanosains Dan Nanoteknologi*.
- Şener, A.G., Altay, A.S., Altay, F., 2011. Effect of voltage on morphology of electrospun nanofibers, in: *Electrical and Electronics Engineering (ELECO), 2011 7th International Conference On. IEEE*, p. I–324.
- Shih, S.-H., Chen, Y.-M., Chung, C.-L., 2017. Properties of carbon-doped TiO_2 nanofiber fabricated by electrospinning, in: *Electronics Packaging (ICEP), 2017 International Conference On. IEEE*, pp. 568–572.
- Subbiah, T., Bhat, G.S., Tock, R.W., Parameswaran, S., Ramkumar, S.S., 2005. Electrospinning of nanofibers. *J. Appl. Polym. Sci.* 96, 557–569.
- Takasaki, M., Kurita, H., Kubota, T., Takashima, K., Hayashi, M., Mizuno, A., 2015. Electrostatic precipitation of diesel PM at reduced gas temperature, in: *2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting. Presented at the 2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/IAS.2015.7356755>

- Wahyudi, T., Sugiyana, D., 2011. Pembuatan serat nano menggunakan metode electrospinning. *Arena Tekst.* 26.
- Ziabari, M., Mottaghitalab, V., Haghi, A.K., 2010. A new approach for optimization of electrospun nanofiber formation process. *Korean J. Chem. Eng.* 27, 340–354.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN 1

Proses pembuatan larutan



Gambar 1. Menimbang gelas beker.



Gambar 2. Menimbang PVA



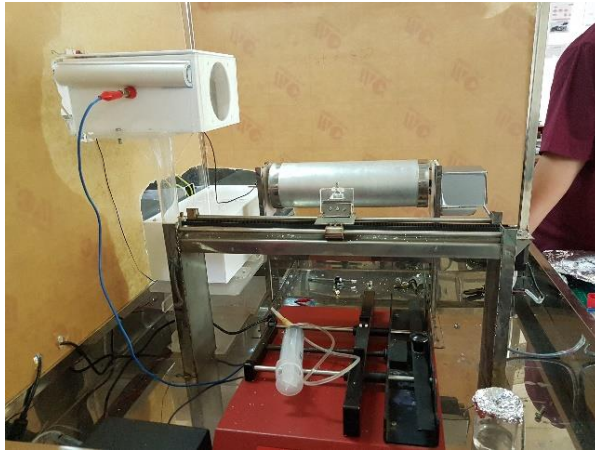
Gambar 3. Mengukur volume aquades



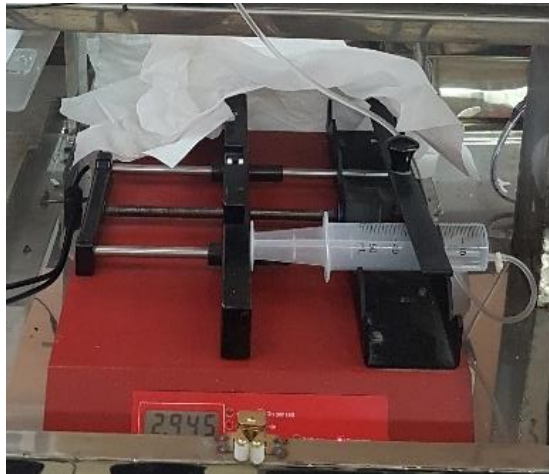
Gambar 4. Pengadukan larutan polimer pada *magnetic hotplate stirrer*

LAMPIRAN 2

Proses fabrikasi *nanofiber*



Gambar 5. *Electrospinning*



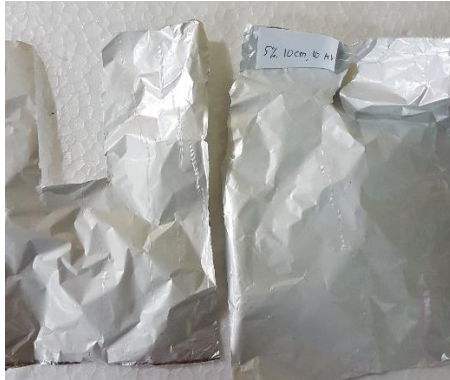
Gambar 6. Proses pemintalan elektrik



Gambar 7. Jarum suntik sebagai *nozzle*



Gambar 8. Pemasangan aluminium foil



Gambar 9. Hasil *nanofiber* dengan parameter konsentrasi 5% wt, jarak *nozzle to collector* 10cm, *DC High Voltage* 10 kV.



Gambar 10. Hasil *nanofiber* dengan parameter konsentrasi 5% wt, jarak *nozzle to collector* 10cm, *DC High Voltage* 8 kV.



Gambar 11. Hasil *nanofiber* dengan parameter konsentrasi 5% wt, jarak *nozzle to collector* 10cm, *DC High Voltage* 6 kV.



Gambar 12. Hasil *nanofiber* dengan parameter konsentrasi 5% wt, jarak *nozzle to collector* 15cm, *DC High Voltage* 10 kV.



Gambar 13. Hasil *nanofiber* dengan parameter konsentrasi 10% wt, jarak *nozzle to collector* 10cm, *DC High Voltage* 10 kV.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Nama lengkap penulis yaitu Tri Ilma Sari, dengan nama panggilan Ilma. Penulis dilahirkan di Sidoarjo, 04 Desember 1995, merupakan anak ketiga dari 3 bersudara. Ayah penulis bernama Sidik dan ibu bernama Sutijah. Saat ini penulis tinggal di RT 03 RW 03 Ds. Kebonsari Kecamatan Candi Kabupaten Sidoarjo. Penulis telah menempuh pendidikan formal di TK Dharmawanita Kebonsari, SDN Kebonsari, SMPN 1 Candi, dan SMAN 2 Sidoarjo. Setelah lulus dari SMAN pada tahun 2014 penulis mengikuti SNMPTN-Undangan dan diterima di Departemen Fisika, Fakultas Ilmu Alam di ITS dan terdaftar dengan NRP 01111440000007. departemen Fisika ini penulis mengambil bidang studi instrumentasi dan elektronika. Penulis sempat aktif di UKM *Technopreneur Development Centre* (TDC) ITS. Penulis pernah menjadi asisten laboratorium bidang fisika madya (laboratorium gelombang dan fisika modern), selain itu penulis menjadi asisten dosen fisika dasar 1 dan fisika dasar 2. Penulis untuk sekarang ini belajar manajemen enterpreneur untuk usaha kecil-kecilan. Saran dan kritik atau sharing tentang tugas akhir ini bisa menghubungi email penulis.

triilmasari@gmail.com